

)

本發明提供一種適用範圍更為廣泛的高傳熱速率熱傳介質，其結構簡單、便於製造、使用安全且對環境無害、可高效率地快速傳熱。本發明另提供一種使用該熱傳介質之熱傳表面，以及使用該熱傳介質之熱傳元件。

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁各欄)

裝

訂

線

)

THE

經濟部智慧財產局員工消費合作社印製

(由本局填寫)

承辦人代碼：

大 類：

I P C 分類：

A6

B6

本案已向：

國（地區） 申請專利，申請日期： 案號： ，☐有 ☐無主張優先權

本案在向中華民國申請專利之前未曾向其他任何國家申請專利

有關微生物已寄存於： ，寄存日期： ，寄存號碼：

（請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁各欄）

裝

訂

線

09020571.001301

經濟部智慧財產局員工消費合作社印製

五、發明說明 (1)

發明領域

本發明係關於一種高傳熱速率熱傳介質、使用本發明熱傳介質之熱傳表面與元件。

發明背景

有效地將熱由某地傳遞至另一地一直是工業生產乃至於人類生活各個層面所面臨的問題。有時需要快速地傳導熱並將其移除，像是使半導體晶片保持冷卻，而有時則需快速地熱傳導熱量並將其存留使用，如自爐中發散熱量。無論是移除亦或是存留使用，熱導熱量所用之材料限制了熱傳導的效率。

舉例來說，使用熱管路(heat pipe)來導熱為眾所周知的例子。熱管路操作之熱傳原理係經由其內含液質載體之質量轉移，以及載體於一封閉迴路管線中從液態至汽態之相變化。熱量之吸收，係於封閉迴路管路中的一端，藉由汽化液質載體來達成，而於他端以凝結此載體來釋放熱量。雖然與固體金屬桿相較，熱管路改善了熱傳導效率，但熱管路卻需要液態/汽態載體的循環流動且受限於載體相關之汽化/凝結溫度。因此，熱管路之軸向熱傳導速率會進一步受限於液體汽化潛熱的量值以及液態與汽態間循環變態的速率。再者，熱管路本質上必會發生對流因而造成熱損失，以致降低熱效率。一般可接受的觀念是，當兩個不同溫度之物質放在一起，較熱物質的

五、發明說明(2)

溫度下降而較冷物質的溫度上升。當熱由熱輸導管較熱的一端傳遞至較冷的一端時，可獲得之熱量會有損失，這是因為輸導管材料的導熱能力、輸導管較冷部份的加熱過程、以及散至大氣中的熱損失所致。

為突破熱傳導材料本身的限制，發明人稍早於2000年10月17日獲頒之美國專利第6,132,823號中所揭示一種熱傳介質組成及製備方法。

於該專利中，熱傳介質係由沈積於一基材上之三層結構所組成。前兩層是以曝置於輸導管內壁上之溶液所製成。第三層則為包含不同組合之粉末。第一層係配置於輸導管之內表面上，第二層接著配置於該第一層之上而在整個輸導管內表面上形成一層薄膜。第三層為粉末，較佳為平均地分佈於整個輸導管內表面上。

第一層命名為抗腐蝕層，用以防止受到輸導管內表面的侵蝕。第二層據稱係用以防止元素態之氫與氧的生成，故可限制氧原子與輸導管材料間氧化反應。第三層稱作為「黑粉」層，據稱一旦曝露於最低活化溫度38°C時即可被活化。因此，據稱將先前專利之熱傳介質中三層結構中的任一層移除均會對熱傳效率造成不利的影響。

此外，製備該先前專利介質之方法十分繁瑣。舉例而言，該第一層的形成可涉及7個步驟中的9種化合物。形成第二層可涉及13個步驟斷備之14種化合物。而形成第三

裝訂線

一般而言，本發明之熱傳介質排除了或改良了許多先前技術中明顯的缺點或壞處。本發明之熱傳介質較佳係由沈積於基材上之一層結構所組成，最佳為一單一層。該層係由一組選自下列之12種無機化合物所製備而形成一單一層。此改良介質不僅降低了介質中使用之化合物數目及種類，而且有效地縮減製備該介質所需步驟，卻無損熱傳效率。

根據本發明以及上述依舊待解的問題，本發明目的之一即在於提供一種適用範圍更為廣泛的高傳熱速率熱傳介質，其結構簡單、便於製造、使用安全且對環境無害、可高效率地快速導熱。

- 6 -

五、發明說明 (4)

- (1)三氧化二鈷(Co_2O_3)，0.5-1.0 %，較佳0.7-0.8 %，最佳為0.723 %；
- (2)三氧化二硼(B_2O_3)，1.0-2.0 %，較佳1.4-1.6 %，最佳為1.4472 %；
- (3)重鉻酸鈣(CaCr_2O_7)，1.0-2.0 %，較佳1.4-1.6 %，最佳為1.4472 %；
- (4)重鉻酸鎂($\text{MgCr}_2\text{O}_7 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)，10.0-20.0 %，較佳14.0-16.0 %，最佳為14.472 %；
- (5)重鉻酸鉀($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$)，40.0-80.0 %，較佳56.0-64.0 %，最佳為57.888 %；
- (6)重鉻酸鈉($\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$)，10.0-20.0 %，較佳14.0-16.0 %，最佳為14.472 %；
- (7)氧化鉍(BeO)，0.05-0.10 %，較佳0.07-0.08 %，最佳為0.0723 %；
- (8)二硼化鈦(TiB_2)，0.5-1.0 %，較佳0.7-0.8 %，最佳為0.723 %；
- (9)過氧化鉀(K_2O_2)，0.05-0.10 %，較佳0.07-0.08 %，最佳為0.0723 %；
- (10)一選用之金屬或銨的重鉻酸鹽(MCr_2O_7)，5.0-10.0 %，較佳7.0-8.0 %，最佳為7.23 %，其中「M」係選自鉀、鈉、銀及銨所構成之群組；
- (11)鉻酸鋇(SrCrO_4)，0.5-1.0 %，較佳0.7-0.8 %，最佳為

五、發明說明 (5)

0.723 % ; 以及
(12)重 鉻 酸 銀 ($\text{Ag}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) , 0.5-1.0 % , 較佳 0.7-0.8 % , 最佳
為 0.723 % 。

緊鄰上述所表示之百分比為將所添加水份乾燥移除後
之最終組合物之重量百分比。

本發明之另一目的為提供一種熱傳表面，其包括至少
部分覆蓋本發明之高傳熱速率熱傳介質的表面基材。

本發明之又一目的在於提供一種包含本發明高傳熱速
率熱傳介質之熱傳元件，該高傳熱速率熱傳介質位於一
基材上。

經由以下的對應圖式與發明詳述，本發明的其他特徵
及優點將會更加地明顯。

圖式簡單說明

圖 1A 顯示根據本發明之熱傳管元件的透視圖。

圖 1B 顯示圖 1 元件之剖面圖。

圖 1H 顯示加熱器輸入功率從由 9 瓦逐步加至 20 瓦，再逐
步加至 178 瓦。

圖 1I 顯示是以各感應器及其平均值之穩定狀態溫差 (感
應器溫度 T 減去周溫 T°) 相對於輸入功率之圖。

圖 1J 顯示輸入功率 20 至 178 瓦產生之瞬間溫度。

圖 1K 顯示同樣的電阻數據對應於熱電偶溫度感應器在
管子的兩半分別記錄的平均溫度之圖。

五、發明說明(6)

圖 1L 顯示碳鋼管之預期的熱傳導係數對應表面溫度之圖。

圖 1M 顯示對熱輸入功率 20 至 170 瓦反應之預期及觀察之瞬間溫度。

圖 1N 顯示模型計算的結果，用以預測沿著熱管的溫度分布。

圖 1O 顯示具第一換熱器的熱傳管圖，該裝置稱為 Diff1，設計來測試在溫度變化的系統中測量熱導率的原理。

圖 1P 顯示另利一種不同的熱導管，有一個中空通有水流的两烯酸柱體附於該熱管的一端，稱 Diff2。

圖 1Q 顯示由這兩種熱量計設計 (Diff1 和 Diff2) 在輸入功率 100-1500 瓦範圍內，流量 1-85 克/秒下操作，其相應的熱流密度 (heat flux density) 為 0.11×10^6 至 1.7×10^6 W/m²，得到從 300 到 1500 瓦的熱量回收。

圖 1R 顯示應用 Diff1 和 Diff2 沿著熱導管所測得之熱量回收曲線。

圖 1S 顯示溫差相對於熱流密度之曲線。

圖 1T 顯示有效熱導率相對於各輸入功率之熱流密度之測量值。

元件符號說明

五、發明說明(7)

102 熱傳管元件	106 孔徑
104 插塞	108 傳輸管
105 空腔	110 熱傳介質

發明詳細說明與較佳實施例

組合物

本發明提供一種高傳熱速率熱傳介質，其可視為一種組合物。該組合物包含或，換個方式說，基本上由下列化合物一起以下示比例或量混合組成。所示量可依需要放大或縮小製造所要的量。雖然諸該化合物較佳要依所示次序混合，它們或許也可以不必依此次序混合。

- (1) 三氧化二銻(Co_2O_3)，0.5-1.0%，較佳0.7-0.8%，最佳為0.723%；
- (2) 三氧化二硼(B_2O_3)，1.0-2.0%，較佳1.4-1.6%，最佳為1.4472%；
- (3) 二鉻酸鈣(CaCr_2O_7)，1.0-2.0%，較佳1.4-1.6%，最佳為1.4472%；
- (4) 重鉻酸鎂($\text{MgCr}_2\text{O}_7 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)，10.0-20.0%，較佳14.0-16.0%，最佳為14.472%；
- (5) 重鉻酸鉀($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$)，40.0-80.0%，較佳56.0-64.0%，最佳為57.888%；
- (6) 重鉻酸鈉($\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$)，10.0-20.0%，較佳14.0-16.0%，最

五、發明說明(8)

最佳為 14.472 % ;

(7) 氧化鉍 (BeO) , 0.05-0.10 % , 較佳 0.07-0.08 % , 最佳為 0.0723 % ;

(8) 二硼化鈦 (TiB_2) , 0.5-1.0 % , 較佳 0.7-0.8 % , 最佳為 0.723 % ;

(9) 過氧化鉀 (K_2O_2) , 0.05-0.10 % , 較佳 0.07-0.08 % , 最佳為 0.0723 % ;

(10) 一選用之金屬或銨的重鉻酸鹽 (MCr_2O_7) , 5.0-10.0 % , 較佳 7.0-8.0 % , 最佳為 7.23 % , 其中「M」係選自鉀、鈉、銀及銨所構成之群組 ;

(11) 鉻酸鋇 (SrCrO_4) , 0.5-1.0 % , 較佳 0.7-0.8 % , 最佳為 0.723 % ; 以及

(12) 重鉻酸銀 ($\text{Ag}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) , 0.5-1.0 % , 較佳 0.7-0.8 % , 最佳為 0.723 % 。

緊鄰上述所表示之百分比為將所添加水份乾燥移除後之最終組合物之重量百分比。

本發明最佳之組合物可以下列方式製得。下列之無機化學品可以化合物所示量之 $\pm 0.10\%$ 範圍變化添加，而添加方式則如下所討論：

(1) 三氧化二鈷 (Co_2O_3) , 0.01 克 ;

(2) 三氧化二硼 (B_2O_3) , 0.2 克 ;

(3) 二鉻酸鈣 (CaCr_2O_7) , 0.02 克 ;

五、發明說明 (9)

- (4) 重鉻酸鎂 ($\text{MgCr}_2\text{O}_7 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) , 0.2克 ;
- (5) 重鉻酸鉀 ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) , 0.8克 ;
- (6) 重鉻酸鈉 ($\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) , 0.2克 ;
- (7) 氧化鈹 (BeO) , 0.001克 ;
- (8) 二硼化鈦 (TiB_2) , 0.01克 ;
- (9) 過氧化鉀 (K_2O_2) , 0.001克 ;
- (10) 一選用之金屬或銨的重鉻酸鹽 (MCr_2O_7) , 0.1克 , 其中
「M」係選自鉀、鈉、銀及銨所構成之群組 ;
- (11) 鉻酸鋇 (SrCrO_4) , 0.01克 ; 以及
- (12) 重鉻酸銀 ($\text{Ag}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) , 0.01克。

諸該化合物係以緊鄰上述所列之次序添加至內含100毫升大體上為純水(較佳經二次蒸餾)的容器中直到溶解。該混合物在常溫下混合, 如約18至20°C, 然後較佳再加熱至55至65°C (較佳約60°C)之溫度範圍內, 並在該溫度下攪拌混合(約20分鐘)直到完全溶解。所得之組合物即可或隨後可供應用。

本發明之熱傳介質可施於任何適何之基材上, 像是置於金屬傳輸管, 甚或玻璃傳輸管上, 只要所選用之表面基本上不含金屬氧化物、油脂或油類即可。為了使所得熱傳組合物之品質最佳, 較佳是在很低的濕度環境下施用此組合物, 如35至37%之相對濕度, 任何情況下均需低於約40%相對濕度。同時希望是將此組合物施用於一個一

五、發明說明 (10)

旦施用即與水(水氣或液體)隔絕之密閉空間體積中。

為於含有此組合物之熱傳傳輸管或空腔中達成所欲之熱傳導度(heat conductivity)，加至該空腔中之本發明熱傳介質的質量會隨該空腔之體積而改變。較佳地，(本發明組合物體積/空腔體積)之比值希望能夠保持在以下的比值範圍內：0.001至0.025，而較佳為0.01至0.025，最佳則為下面幾個比值：0.025、0.02、0.0125與0.01。傳輸管不需要做任何預塗覆的步驟。一旦該傳輸管載入或填滿所需量之介質，傳輸管便被加熱至120℃以蒸發該二次蒸餾水。該傳輸管或空腔接著被密封，以供作為熱傳裝置使用。

用於製備該傳輸管之本發明之熱傳介質的用量可以根據所要之成品用途而有所不同。本改良之介質的製備與使用本發明熱傳介質之熱傳表面或傳輸管的製造均可於一個單一步驟中達到且完成。

該改良介質可在70至1800℃的溫度範圍內使用操作而無損其特性。而其表面可依據所需產品的外型建構成任何形狀(如管形、平板形或其組合)，而無任何結構角度上的限制。舉例來說，該傳輸管可做成直的、彎的、曲折的、網狀的、螺旋的、或蛇狀的外型。再配合外部尺寸的設計，即可分別應用於不同的領域中。

項觀察到本發明熱傳介質之熱導率(thermal conductance)與熱傳速率目前已超過純金屬銀的32,000倍以上。

五、發明說明 (11)

應注意的是，如果該改良介質組成份(component)沒有按照所列次序混合，介質會變得不穩定且可能會導致災難性的反應。再者，應以金屬做為本發明介質的基材，建議所用之金屬應為乾淨且無任何氧化物或銹垢。這可藉由習用之噴砂、弱酸洗或弱鹼洗之處理來完成。任何用於清洗或處理該傳輸管的材料均應完全被移除，且該傳輸管內表面在施加入該介質之前也應先經乾燥處理。下面以非限定性之實施例來進一步說明本發明之技術內容。

實施例 I

以下列方式製備無機高導熱性熱傳介質，而添加方式則如下所討論：

- (1) 三氧化二鈷(Co_2O_3)，0.01克；
- (2) 三氧化二硼(B_2O_3)，0.2克；
- (3) 二鉻酸鈣(CaCr_2O_7)，0.02克；
- (4) 重鉻酸鎂($\text{MgCr}_2\text{O}_7 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)，0.2克；
- (5) 重鉻酸鉀($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$)，0.8克；
- (6) 重鉻酸鈉($\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$)，0.2克；
- (7) 氧化銦(BeO)，0.001克；
- (8) 二硼化鈦(TiB_2)，0.01克；
- (9) 過氧化鉀(K_2O_2)，0.001克；
- (10) 一選用之金屬或銨的重鉻酸鹽(MCr_2O_7)，0.1克，其中

五、發明說明 (12)

「M」係選自鉀、鈉、銀及銨所構成之群組；

(11) 鉻酸鉶 (SrCrO_4)，0.01 克；以及

(12) 重鉻酸銀 ($\text{Ag}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$)，0.01 克。

將上述各化合物依所列之次序添加至內含 100 毫升 (ml) 經二次蒸餾純水的容器中直到溶解。該混合物在常溫 20°C 下混合，然後於 60°C 之溫度下，攪拌混合 (約 20 分鐘) 直到完全溶解。所得之組合物即可或隨後可供應用。

實施例 2

將實施例 1 所得之組合物作為本發明之熱傳介質，在 36 % 之相對濕度塗覆於各種不同之基材上，如金屬 (碳鋼、不銹鋼、鋁、銅、鈦、鎳等合金) 或非金屬 (玻璃或陶瓷) 傳輸管上，形成所需之熱傳元件。所選用之基材表面基本上不含金屬氧化物、油脂或油類。為使所得熱傳元件之品質最佳，施用實施例 1 之組合物是在低相對濕度環境下進行 (低於約 40% 相對濕度)。作為熱傳介質之組合物於施用後，即將其密閉於熱傳元件之空腔中，以與水 (水氣或液體) 隔絕。空腔中可視需要抽真空後密封。

為於含有此組合物之熱傳傳輸管 (conduit) 或空腔 (cavity) 中達成此意欲之熱傳導度，加至該空腔中之本發明熱傳介質的品質會隨該空腔之體積而改變。本發明組合物體積與空腔體積之比值用 0.025、0.02、0.0125 與 0.01 等比例塗覆於傳輸管空腔之內壁上。傳輸管不需要做任何預塗附

五、發明說明 (13)

的步驟。一旦該傳輸管載入或填滿所需量之介質，傳輸管便被加熱至 120°C 以蒸發該二次蒸餾水。該傳輸管或空腔接著被密封，以供作為熱傳裝置中之熱傳元件使用。

用於製備該傳輸管之本發明之熱傳介質用量可以根據所要之成品用途而有所不同。本改良之介質的製備與使用本發明熱傳介質之熱傳表面或傳輸管的製造均可於一個單一步驟中達到且完成。

該改良介質經測定可在 70 至 1800°C 的溫度範圍內操作而無損其特性。而其表面可依據所需產品的外型建構成任何形狀(如管形、板形或其組合)，而無任何結構角度上的限制。舉例來說，該傳輸管可做成直的、彎的、曲折的、網狀的、螺旋的、或蛇狀的外型。再配合外部尺寸的設計，即可分別應用於不同的領域中。

常規熱管路是利用液體汽化和蒸汽冷凝時吸收和放出大量潛熱，而使熱能從管子的熱端迅速傳向冷端的技術，其軸向傳熱速率取決於液體汽化潛熱的大小，汽液往返的速率。此外還要受材質是否適應、溫度和壓力不能太高等條件的限制。

本發明之熱管元件其軸向導熱速率遠大於同樣大小的任何金屬棒或任何常規熱管。管內壓力強度遠低於同溫度下的任何熱管的管內壓強，適用的溫度上限為管材的許用溫度上限。根據本發明之熱傳介質可依不同應用領

五、發明說明 (14)

域的需求，管元件可依需求將外部製作成各種的尺寸與型式。

圖 1A 及 1B 顯示根據本發明之熱傳管元件的示意透視圖與剖面圖。如兩圖中所示，其中熱傳管元件 102 包含塗覆其內壁面表上之熱傳介質 110，空腔 105，傳輸管 108，孔徑 106，以及密閉孔徑 106 用之插塞 104。

本發明之熱傳管元件可依使用上的實際需要將管與管元件組合應用。管管元件具有高效傳熱、均溫性、可組合及熱流密度可變等特性，用管管元件製造而成的換熱器，體積緊湊，體積小，表面散熱小，提高了熱利用率，節省電能。管管元件都獨立的工作元件，任意一端壞不會引起兩種換熱流體互混，任何一只管管元件損壞都不會影響其元件的正常工作。少量管管組合元件損壞或失效，不影響整台設備正常運行。

而隨組合方式的不同一般可分為管管組合單體元件和管管組合分離元件。管管組合單體元件係將本發明之熱傳管元件並排或交錯組合，通常是用於高度需要均勻加热的應用領域，如加熱溫恒穩，易燃，易爆之有毒化工原料氣體或液體。加工化工原料氣、液體、工藝要求高，難度大。多數化工原料流體屬於易燃易爆有毒氣體，有時還帶壓力，生產工藝要求原料氣體液體的加熱必需要均勻，加熱溫度要恒穩，且不得洩漏。

五、發明說明 (15)

熱傳功效測定過程及方法

一對使用實施例1所得組合物製成之管元件，用於驗證熱傳度及有效熱導率(effective thermal conductance)，並於後進一步例示所得組合物材料在各種傳遞熱方法上之用途。

例證管(demonstration tube)其尺寸為直徑2.5公分×1.2公尺，該管的一端焊接有一直徑7.5公分×長度10公分之開口圓柱形附件，以插入一緊密契合且略帶錐度的加熱器(直徑5公分×長度9公分)。例證管的內部在清潔後塗覆上一層薄的由根據上述步驟製備之本發明熱傳材料塗層。

在沿著例證熱傳管(heat transfer tube)外圍部份經明確界定的位置上，接附上最多達9個經校正的熱電偶。監看該等位置之溫度，當測點的溫度對不斷變化的電熱輸入至位於管底之加熱器產生反應時，對這些點的溫度進行監視並記錄下來。在某些情況下，會用到重複的溫度感應器及監視裝置，尤其是在該管的兩端，以確定不會發生任何重大之溫度誤測(mis-measurement)。

彼等實驗在尺寸大小約為 $1.2 \times 1.6 \times 1.0$ 公尺之安全密封的通氣屏蔽體(closure)內進行。為了將測試室內溫度分層化減至最小，該試驗是以與水平線夾角為 10° 之受試驗管(tested tube)進行。在此結構中輸入功率及溫度均受到監視，以量化在驗證熱導管內熱傳率。

五、發明說明 (16)

使用7個J型熱電偶，沿直徑2.5公分、長1.2公尺之管等距放置於其上來進行溫度測量。另一熱電偶則放置於外覆在加熱器之較大直徑的管上。該熱電偶使用不銹鋼管鉗夾(clamp)固定。剩餘的熱電偶則測量室溫。

將熱電偶連接至凱氏(Keithley) 706掃描器內部的凱氏7057A型熱電偶掃描卡。在7057A的接點塊(junction block)具有一支用於對冷溫端進行補償的熱敏電阻(thermistor)溫度感應器。以標準四階多項式做連點溫度補償與溫度計算。

自惠普(HP)66000A電源供應器供給電源至管加熱器，電源供應器主要架構為具有8個HP66105A 125A/120V電力模組(module)。每四具電源供應器並聯成一組，而將兩組電源的輸出端串聯，以產生一5A/240V電源供應之淨輸出。此電源供應系統在整個實驗過程中，產生非常穩定之加熱功率。而實際電流以使用加熱器通過kepc0 01-Q/200瓦標準電流電阻器兩端之電壓測量之。通過連接在加熱器兩端的電壓敏感線測量電壓。

該二電壓以上述凱氏(Keithley) 706掃描器中之凱氏7055通用掃描卡進行測試。將掃描器板之輸出信號輸入到以直流電壓模式操作之凱氏195A 5 1/2位數萬用表(multimeter) (DMM)。以麥金塔(Macintosh) IIx電腦控制掃描器及DMM，該電腦使用IO Tech型SCS 1488 IEEE-488介面。將

五、發明說明 (17)

結果儲存在電腦硬碟上以用於存取(accessed)分析。數據收集(data acquisition)軟體係以Future Basic語言撰寫。分析後之數據以微軟EXCEL試算表(spreadsheet)軟體呈現。

熱傳導度之測試(Determination of Thermal Conductivity)

在將該管以接近水平放置後，使用最高達300瓦輸入功率繼續類似的測試，產生溫度最高達到室溫150℃以上，再將該管以置於水平之模式進行7次實驗，包括在最後一次實驗中，在10天內將輸入功率在170至300瓦特間來回逐步改變大小。

進行數個實驗以測試熱管表面上之溫度分佈及對階躍函數(step function)加熱器輸入功之瞬態反應。於該等測試中使用9個相同且經校正(calibrated)之熱電偶：1)一個監視周圍溫度之熱電偶(T_{air})，2)一個固定在管柱形加熱器上之熱電偶(T_{heat})，及3)7個置於沿著管軸等距位置之熱電偶(在12點鐘位置，命名為 T_2 至 T_8 ，越接近加熱器之數字越小)。

圖1H顯示某次該實驗之結果，其中加熱器輸入功率從由9逐步加至20瓦，再逐步加至178瓦。圖1I是以各感應器及其平均值之穩定狀態溫差(感應器溫度 T 減去周溫 T°)相對於輸入功率做圖。圖1I中之實線是用指定係數對溫度平均值進行的二次方最佳配適(fit)。此線顯示出均溫管路(pipe)之熱耗散的期望形式，即與線性相關有一負的二階

五、發明說明 (18)

偏離。令人意外的是溫度的度數，沿著僅在一端加熱之基本上為空的管路延伸長度方向上，溫度始終保持不變。

在20至178瓦之間的大功率進行更仔細的不同功率的逐步試驗時，茲發現於測量之時刻(time scale)，在沿著加熱試驗管之各點溫度相當快速地升高。將溫度感應器 T_2-T_8 及其平均值作為2小時時間之函數繪線於圖1J上，溫度緊跟著功率逐步上升而即刻變化。(最初45分鐘，每分鐘收集一次數據，接著每5分鐘收集一次。)而在圖中所示之時刻上，溫度沒有隨位置顯著變化，試驗之管的行為表現就好像是沿著其軸向均勻地加熱一般。

三種其他數據組繪製於圖1J中，但它彼此間太緊密一致以致於難以去解析；星號表示尺寸等同於該熱管均勻受熱鋼管，其對應之由20至178瓦功率階躍的熱量散發之預測溫度。此模型細節將於下面討論。

圖1J中以空心菱形與圓形表示之繪點(point plotted)為測自沿管軸向金屬相中之電阻比值。根據下面的公式可以預測，某種金屬的電阻值會隨著溫度的變化而改變：

$$R = R^{\circ} (1 + \alpha T) \quad (1)$$

於是，

$$T = (R/R^{\circ} - 1)/\alpha$$

R為 $T = 0^{\circ}\text{C}$ 時測量到的電阻值。

五、發明說明 (19)

標記有 R_{bot} 的數據點，是指在靠近加熱器的半截管上測量的電阻值，而那些標有 R_{bot} 的數據點，是指管的上半截的電阻值。圖 1K 顯示出繪出同樣的電阻數據，分別對應於用熱電偶溫度感應器在管的兩半分別記的平均溫度。從圖 1K 中繪製的回歸線，可以清楚地看到這條線很準確地遵從方程式 (1) 的計算結果，並且製造該管的鋼材電阻值的溫度係數 $0.428 \pm 001\% K^{-1}$ 。

圖 1J 與圖 1K 中的電阻值數據的重要性在於 1) 在熱電偶溫度測量中沒有明顯的誤差；2) 對該管表面進行的這些溫度測量，得到通過電阻值比率記錄的容積的溫度測量結果的準確確讀；3) 任何時候，不管熱源點的位置在何處，遠離加熱器的管子一端的平均溫度與接近加熱器的管一端測得的平均溫度都很難辨別。

有效熱傳遞率 (Effective Heat Transfer Rates)

熱從碳鋼管傳遞是一個熟知並且非常容易理解的，具有顯著工程重要性的問題。

熱經過自然對流和輻射的方式，從一根水平的、裸露的標準碳鋼管的表面傳遞的速率，通過一組根據經驗方程和確定的常數，在參考文獻中有很好的描述。圖 1L 繪製出 1 英吋直徑的碳鋼管對應其表面溫度的預期的熱傳導係數。通過從表中常數計算出的數據點配適出一條拋物線形的回歸線。這條回歸線函數，用於匹配對應於逐步

五、發明說明 (20)

增加的加熱器功率，所觀察到的熱管表面的溫度的穩態響應和瞬態反應。

建立一個簡單的 210×10 單元的數值模型，用以求解該熱導管的熱輸入、熱儲存以及熱損失速率的微分方程。該模型的建立用了兩個假設：1)圖1L中提出的函數精確地描述出該管表面的熱損失；2)該管一端的熱輸入即時有效地傳達到金屬管的各個部份。

這兩個假定與觀察到的結果是一致的，因此，對於使數據合理化來說是必不可少的。

圖1M表示這樣的一種數值計算的結果，以及如圖1L所示的具有指定的鋼材比熱容值為 0.54 J g^{-1} 的熱傳導係數。(測量的)輸入功率劃分為兩個部份，分別為在熱管的總熱容量(P_{store})中儲存，以及通過自然對流和對周圍環境輻射的總耗散量(P_{lost})，將周圍環境溫度(實測值)的略微增加考慮在內，模型預測的與測量得到的平均溫度響應非常接近，預期的能熱耗散略微(2%)大於測量的輸入功率。這一差異很容易通過測試模的誤差、溫度感應器對於熱耗散的效應、以及管與水平結構的 10° 夾角來解決。

對於圖1M中所示個案，以及其他的幾個實驗個案，明顯地非常符合模的假設。也就是說，該熱導管的熱行為就像是一個標準的各處均勻加熱的碳鋼管一樣。

熱傳導係數(Heat Transfer Coefficient)

五、發明說明 (21)

在前節之中，我們討論了如何達到穩態響應和功率上升時的瞬態反應。作出與觀察一致的假設。即管子是均勻一致地加熱的。由於實際上只在該管的一端加熱，這個假定就產生了顯著的錯誤。

由於管子是在一端加熱，熱流模式可以做成一個一維的傳輸線模型。使用此概念，熱從加熱器開始，沿著管子的長度方向在各個連續單元中傳導：1)熱沿著軸的方向，在該管的容積內填充了無論何種物質；2)熱通過管的銅壁，呈放射狀地傳導至外表面(此處溫度受到監視)；3)再次熱呈放射狀地傳導至周圍環境的空氣中去(周圍環境的溫度考慮為固定的)。

將這些條款以排成倒序的形式，熱由管表面到環境空氣中的傳遞速率為圖1L中實線條所描述的函數。圖1L中還表示的鐵的熱傳導數據，使用一根拋物線形回歸線配適(fit)並外插(extrapolation)。

圖1N表明模型計算的結果，用以預測沿著熱管的溫度分布。假定管中充滿銀元素。銀被用作一種參考材料，是因為它在所有元素及元素的標準同素異形體中，是已知最好的熱導體(鑽石的導熱性優於銀)。在 $4.3 \text{ W cm}^{-1}\text{K}^{-1}$ 的條件下，銀的導熱能力大約超過鐵的5 1/2倍(鐵用於表示碳鋼管)。

在圖1N中，上方的線條顯示出預期的沿著管子的溫度

五、發明說明 (22)

分布，計算的加熱器輸入功率為178W。假定管子中充滿一種媒介質，這種介質的導熱率與銀導熱率($4.3 \text{ W cm}^{-1}\text{K}^{-1}$)完全相同。在此條件下測得的沿該管軸向排列的8個感應器的溫度，用實數據點加以表示。

圖1N清楚地顯示出，如果內部容積以固體金屬銀的傳熱速率和傳熱機構(mechanism)進行熱傳導的話，測得的溫度分佈輪廓比預測的溫度分佈要平坦的多。按照：按銀的2倍、5倍、10倍、100倍以及1000倍這些指定的數值不斷提高內部容積的導熱率，進行計算。只有最後一次計算與實測的結果一致。換個方式說：該管之導熱，好似其內部充滿具有遠較銀之熱傳導度(thermal conductivity)為高(至少1000倍以上)的材料。雖然該結果只在一次實驗(當加熱器的輸入功率為178W時)中顯示出來，但此結論與在多於一個的結構中和某一功率輸入範圍內，對熱管所進行的大量測試的結果是一致的。

對於所觀察到之軸向溫度輪廓(profile)尚無一個明顯的解釋。舉例而言，雖說熱管路(heat pipe)(其中熱傳係以蒸發、蒸汽輸送與工作液體的凝結發生)以高速率傳熱，也許可對例證熱導管就大範圍之操作溫度得到排除此可能性的證據。而熱管路可在不同溫度或溫度區間中操作。

有效熱導率的測量

典型熱管路的熱流(ϕ)按照輸入功率(W)除以管的截面積

五、發明說明 (23)

(m^2)來計算。在無負載條件下，畫出測得的熱管路熱源冷源兩端的溫差(T)相對於(ϕ)的曲線，由此可得最大熱流。考察上述曲線的 T/ϕ 值何處偏離通常運行區域內測得的 T/ϕ 值，該處的 ϕ 值即最大熱流密度 ϕ_{MAX} 。我們增加(表為熱流密度的)輸入功率，並測量導管熱源冷源兩端的溫度。但沒有得到最大熱流密度，因為其 T/ϕ 曲線沒有明顯的偏離。

將典型熱管路作為一個傳熱整體來計算其有效熱導率(k_{eff})，定義如下：

$$k_{eff} = [P(W) - l/A]/(T_2 - T_1)(K)$$

其中 P 是輸入功率， l 為管道長度， A 為管道截面積， T_2 是管道冷源端的溫度，而 T_1 是管道熱端的溫度。在無負載條件下增加輸入功率，並測量熱源冷源兩端以及其中若干點上的溫度。所有的實驗中導管四周都沒包裹絕熱材料。

另一種方法是在不同的負載、更好地控制運行溫度的條件下進行同樣的測量。在導管的冷源端連接三種不同的換熱器，進行上述實驗。在變化負載條件下改變輸入功率，並測量熱冷源兩端以及其中若干點上的溫度。用6仟瓦循環激冷器將常溫循環水流過換熱器作為負載。(應用質量流熱量計技術以及上述之分析方法測量冷源功率。)按方程式(1)計算 k_{eff} 。

圖10表示的是帶第一換熱器的熱導管(heat transfer

五、發明說明 (24)

tube)，該裝置稱為 Diff1，設計來測試在溫度變化的系統中測量熱導率的原理。

利用 Omegatherm200 高熱導率環氧黏接劑將銅線圈固接於該例示熱導管。但該環氧黏接劑之熱導率只是銅的 0.003 倍左右，因此該環氧形成巨大的熱阻，影響熱量流入換熱器。為了消除此熱阻，第二種設計 Diff2 利用了一種不同的熱導管，有一個中空的通有水流的两烯酸柱體附於該熱管的一端，如圖 1P 所示。

這兩種熱量計設計 (Diff1 和 Diff2) 的工作範圍為輸入功率：100-1500 瓦，流量：1-85 克/秒。其相應的熱流密度 (heat flux density) 為 0.11×10^6 至 1.7×10^6 W/m²。從 300 到 1500 瓦的熱量回收示於圖 1Q 中。

應用 Diff1 的效率為 72%，應用 Diff2 的效率為 93%。鑑於 Diff1 中使用的環氧其熱導率很差，這是意料中的事。圖 1R 顯示的是應用 Diff1 和 Diff2 時沿著熱導管所測得之熱量回收曲線。

由於較高之熱量回收效率，使用 Diff2 時我們可將輸入功率提高到 3 仟瓦。兩種情況下，距加熱器 27 公分處溫度都是最高。該點溫度與距加熱器 107 公分處的溫度作了比較；由於加熱器的影響，距加熱器越遠，其溫度越低。圖 1S 中將此溫差相對於熱流密度畫出了曲線。

本曲線呈線性變化或者呈現負偏離的區域，為典型熱

五、發明說明 (25)

管的有效運行範圍。超過此有效範圍，由於熱量以較低的效率傳到熱管的冷源端，溫度將不成比例地增大。在各種測量條件下，該熱導管的溫度都是線性地隨著熱流密度的增加而增加。表明始終未達到最大的熱流密度。唯一的例外是2仟瓦以上時，那時107公分處的溫度要高於27公分處的溫度。為此原因，輸入功率2仟瓦以上的數據， $(2.2 \times 10^6 \text{ W/m}^2)$ 並未被標繪出來。

圖1T總結了在所有小於2,000瓦的輸入功率和熱流密度為 $2.5 \times 10^6 \text{ W/m}^2$ 時，相對於熱流密度的有效熱導率。這些結果以 k_{eff} 與銀熱率之比(與管內充滿銀-熱導率最高的金屬-的金屬的情況作比較)的形成來表達。此比值的最大值大於30,000。